

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
« ____ » _____ 2026 р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: **«Удосконалення конструкції складського візка для гнучких інструментів, зношування робочої поверхні яких суттєво впливає на якість та точність виробничого процесу.»**

Виконав: студент 3 курсу, групи 31 к-ім
освітньої програми бакалавр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Шульга Віктор Олексійович
(прізвище та ініціали)

Керівник канд. с-г наук, доцент
Головатюк Анатолій Анатолійович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 Факультет інженерних технологій та професійної освіти
 Кафедра агроінженерії

Освітня програма «Бакалавр»
 Спеціальність 208 «Агроінженерія»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Володимир ДІДУР
 «__» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
(ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

Шульзі Віктору Олексійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту **«Удосконалення конструкції складського візка для гнучких інструментів, зношування робочої поверхні яких суттєво впливає на якість та точність виробничого процесу.»**

керівник проекту Головатюк Анатолій Анатолійович, канд. с-г наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ 08 ” _____ травня _____ 2026 р. № 01-06/167

2. Строк подання студентом проекту 18.05.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ. 1. Аналіз стану питання за темою дипломного проекту. 2. Теоретичні та/або експериментальні дослідження за темою дипломного проекту. 3. Охорона праці. 4. Обґрунтування досягнутих результатів. Загальні висновки. Список використаних джерел.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 26 вересня 2025 року*КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	15.10.2025 р.	
2.	Розділ 1. Аналіз стану досліджуваного питання	19.11.2025 р.	
3.	Розділ 2. Експериментальні дослідження	18.12.2025 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	12.02.2026 р.	
5.	Розділ 4. Економічне обґрунтування проекту	09.03.2026 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини проекту	15.04.2026 р.	
7.	Представлення проекту керівнику на перевірку	18.05.2026 р.	

Студент

(підпис)

Шульга В.О..

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____

(підпис)

Головатюк А.А.,

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ	
1.1 Огляд існуючих рішень на ринку	11
1.2 Аналіз технологій лазерного різання та гнуття металу	14
1.3 Стандарти та вимоги до складського обладнання	15
2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1 Концептуальне проектування та формування технічного завдання	17
2.2 Розрахунок несучої здатності та ємності	19
2.3 Вибір стандартних комплектуючих	20
2.3.1 D-модельювання в SolidWorks	21
2.3.2 МСЕ-статичний аналіз конструкції. Постановка задачі	22
2.3.3 Аналіз підставки передніх коліс	24
2.3.4 Аналіз гнізда для інструменту	27
2.4 Підготовка технології виробництва	30
2.4.1 Обладнання лабораторії	30
2.4.2 Програмування технологічного процесу	32
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	
3.1 Вимоги безпеки при експлуатації складського візка	35
3.2 Ергономіка та безпека праці при роботі з гнучкими інструментами	35
3.3 Безпека при транспортуванні за допомогою навантажувача	36
4. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	38
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	42

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

CNC	Комп'ютерне числове програмне управління (Computer Numerical Control)
САПР	Система автоматизованого проектування (Computer Aided Design, CAD)
САВТ	Система автоматизації технологічної підготовки виробництва (Computer Aided Manufacturing, CAM)
MCE	Метод скінченних елементів (Finite Element Method, FEM)
PDF	Формат портативного документа (Portable Document Format)
DXF	Формат обміну кресленнями (Drawing Exchange Format)
DIN	Німецький інститут стандартизації (Deutsches Institut für Normung)
RAL	Система стандартизації кольорів (Reichs-Ausschuß für Lieferbedingungen)
BM	Напруження за критерієм фон Мізеса (Von Mises stress)
ESTRN	Екстремальна деформація (Extreme Strain)
URES	Сукупні переміщення (Resultant Displacement)

ВСТУП

Загальний аналіз стану зберігання інструментів у промисловості.

Організація зберігання різноманітних об'єктів має принципове значення для підтримки їх функціональних властивостей і продовження терміну служби. Особливої актуальності це набуває для прецизійних інструментів, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності та надійності. Такі інструменти повинні відповідати суворим нормативним вимогам і стандартам, що гарантує стабільність і повторюваність технологічних процесів.

Якість прецизійних інструментів є критично важливим чинником у галузях, де точність є неодмінною умовою, – авіаційній, медичній і автомобільній промисловості. Сучасні підприємства дедалі більше усвідомлюють значення правильної організації зберігання інструментів, яка безпосередньо впливає на якість продукції, точність виробничого процесу та ефективність технологічних операцій [1].

Тому вони вкладають кошти у сучасні технології та системи управління інструментальним господарством, що забезпечують оптимальне управління інструментами й мінімізують ризик їх пошкодження, допущення похибок і втрат часу. Правильне зберігання інструментів стає ключовим елементом стратегії забезпечення конкурентоспроможності підприємства на ринку, оскільки будь-яке відхилення від норм може призвести до погіршення якості продукції або навіть до зупинки виробництва [1].

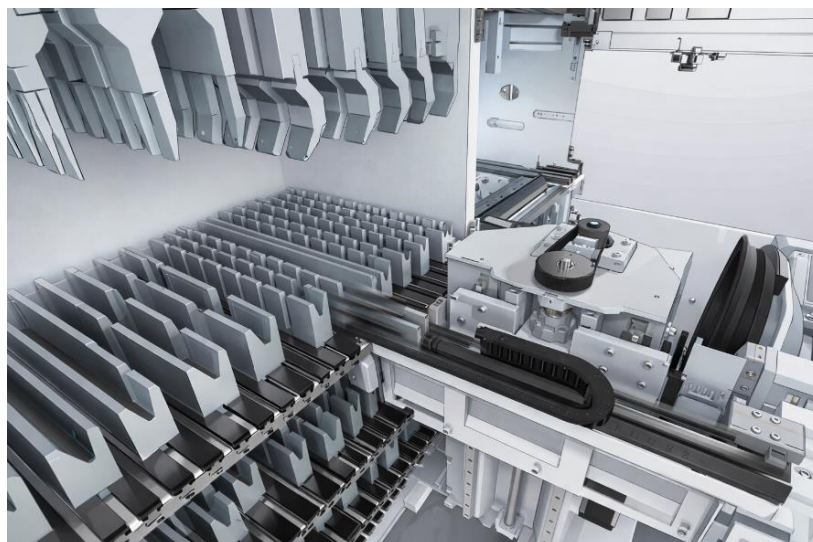


Рисунок 1 – Сучасна автоматизована система управління інструментами для зберігання (TRUMPF ToolMaster) [1]

Найпоширеніші помилки при зберіганні та їх наслідки:

Основні виклики, з якими стикаються підприємства при організації зберігання інструментів, пов'язані з питаннями організованості та доступності. Інструменти мають бути швидко доступні, проте нерідко виникають труднощі з пошуком потрібного інструменту, що спричиняє затримки та знижує продуктивність праці. Неналежна організація складського господарства призводить до безладу і марних витрат часу.

Питання безпеки не менш важливе, оскільки неупорядковане складське приміщення підвищує ризик травматизму персоналу. Неправильно розміщені інструменти можуть впасти або зрушитися, що може стати причиною нещасних випадків. Технічне обслуговування та термін служби інструментів є ключовими аспектами: інструменти потребують регулярного догляду для забезпечення тривалого та безвідмовного функціонування. Неналежні умови зберігання можуть спричинити механічні пошкодження або корозію, що знижує ефективність інструментів.

Контроль запасів є важливим завданням управлінського характеру: необхідна ефективна система обліку інструментального фонду для запобігання його дефіциту або надлишку. Брак інструментів може призупинити виробничий процес, тоді як надлишок збільшує витрати на

складське зберігання. Питання простору та ємності складського приміщення є принципово важливими для ефективного використання наявних площ. Інструменти часто вимагають специфічних умов зберігання, що ускладнює оптимізацію простору.

Таким чином, грамотна організація зберігання інструментів дозволяє підприємствам підвищити продуктивність, безпеку праці та конкурентоспроможність.

Опис проблеми, що є предметом дипломної роботи:

Потреба у належному зберіганні інструментів виникла і в технологічній лабораторії факультету, яка оснащена різноманітним сучасним обладнанням, зокрема CNC-гнучким пресом марки Trumpf, модель TruBend 3066 (B26). Для цього верстата було придбано комплект гнучкого інструменту, що вирізняється високою точністю виготовлення та відповідно значною вартістю. Було замовлено кілька наборів різних гнучких інструментів різних довжин.

Зазначений інструмент потребує належного зберігання з урахуванням як його розмірно-конструктивних особливостей, так і функціонального призначення. Отже, необхідно знайти оптимальне рішення зберігання, яке забезпечить продовження терміну служби, безпеку використання, якість виробів, організованість, ефективність та інші характеристики, описані у вступі. Поточний стан зберігання гнучкого інструменту в лабораторії є незадовільним – інструменти зберігаються на дерев'яних підставках без спеціалізованої системи (рисунок 2).



Рисунок 2 – Поточний незадовільний спосіб зберігання гнучкого інструменту в лабораторії

Мета та завдання дипломної роботи:

У сучасній промисловості зростає потреба у розробці виробів зі листового металу, придатних для виготовлення методами гнуття та різання. Традиційний процес зварювання дедалі частіше замінюється формуванням виробу та послідовним гнуттям, що дозволяє повністю виключити зварювання з виробничого процесу.

Метою дипломної роботи є комплексна розробка складського візка, розмірно адаптованого під конкретний тип гнучкого інструменту, при повному виключенні зварювання. Це означає, що з'єднання елементів конструкції здійснюватиметься переважно за допомогою болтів, клеїв або заклепок. При проектуванні виробу ключовим завданням є оптимізація конструкції для виробництва із застосуванням технологій лазерного різання та гнуття листового металу.

З цією метою використовуватимуться сучасні комп'ютерні засоби моделювання та симуляції процесів різання і гнуття листового металу, що забезпечить сумісність виробу з технологічним обладнанням, наявним у лабораторії факультету інтелектуальних виробничих систем.

Основні завдання роботи включають:

- управління процесом розробки візка;
- складання технічного завдання;

- комп’ютерне моделювання (SolidWorks);
- симуляція статичного аналізу конструкції (MCE);
- усунення технологічних обмежень гнуття листового металу (TruTops Boost);
- розробка технічної документації;
- підготовка технології виготовлення;
- аналіз результатів.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ЗА ТЕМОЮ

1.1 Огляд існуючих рішень на ринку

На першому етапі розробки було проведено детальне дослідження ринку, яке охоплювало вивчення вже наявних рішень і виробів. Проаналізовано технічні характеристики потенційних продуктів-аналогів, ціни яких коливаються від 1 500 до 5 000 євро [2]. Попутно розпочато планування технологічного процесу виробництва з метою запобігання можливим проблемам при виконанні лазерного різання та гнуття листового металу.

Виявлено п'ять основних типів аналогів складських візків для гнучкого інструменту, представлених на ринку:

Варіант 1 – відкрита стійкова конструкція (рисунок 1.1). Являє собою відкриту А-подібну раму на колесах з горизонтальними полицями для розміщення гнучкого інструменту. Перевагою є простота конструкції та низька вартість, недоліком – відсутність захисту інструменту від пошкоджень і забруднень, а також обмежена організованість зберігання [3].



Рисунок 1.1 – Варіант 1: відкрита стійкова конструкція для зберігання гнучкого інструменту.

Варіант 2 – шафа з горизонтальними скринями (рисунок 1.2). Являє собою закриту шафу з горизонтальними висувними скринями, обладнаними горизонтальними роздільниками для штучного інструменту. Перевагою є захищеність інструменту та ефективна організація зберігання, недоліком – значна вага та висока вартість [4].



Рисунок 1.2 – Варіант 2: шафа з горизонтальними висувними скринями.

Варіант 3 – компактна шафа з вертикальними секціями (рисунок 1.3). Закрита шафа з висувними вертикальними секціями для зберігання інструменту у вертикальному положенні. Перевагою є компактність і захист інструменту, недоліком – обмежений доступ до нижніх рядів [5].



Рисунок 1.3 – Варіант 3: компактна шафа з вертикальними секціями

Варіант 4 – відкритий візок зі стійками (рисунок 1.4). Відкритий мобільний візок з вертикальними стійками для підвішування інструменту. Перевагою є висока мобільність та можливість доступу з обох боків, недоліком – відсутність захисту інструменту [6].



Рисунок 1.4 – Варіант 4: відкритий мобільний візок зі стійками [6]

Варіант 5 – закрита шафа з вертикальними висувними скринями (рисунок 1.5). Закрита шафа з вертикальними висувними секціями, яка забезпечує повний захист і зручний доступ до всіх типів гнучкого інструменту з обох сторін. Це рішення було визнано найбільш функціональним та обраним за основу для подальшої розробки [7].



Рисунок 1.5 – Варіант 5: закрита шафа з вертикальними висувними секціями (обраний концепт).

За результатами порівняльного аналізу, варіант 5 найбільш повно відповідає вимогам лабораторного середовища факультету. Цей концепт забезпечує висувні вертикальні секції (скрині), що дозволяє здійснювати швидкий і зручний доступ до інструменту з обох боків і легко виявляти потрібний інструмент. Концепція закритого корпусу забезпечує додатковий захист інструментів від зовнішніх впливів.

1.2 Аналіз технологій лазерного різання та гнуття металу

Промисловість обробки листового металу пережила стрімкий розвиток завдяки прогресу в технологіях обробки матеріалів. Серед найважливіших інновацій – лазерні різачи та гнучкі преси, що революціонізували підходи до виготовлення деталей.

Лазерний різак використовує потужний сфокусований лазерний промінь для різання металів із надзвичайно високою точністю. Принцип роботи полягає в спрямуванні лазерного променя через оптичні лінзи, що фокусуються на матеріалі, викликаючи локалізований нагрів і плавлення або випаровування матеріалу [17]. Основні переваги лазерного різання:

- висока точність обробки – дозволяє суттєво зменшити відходи матеріалу та потребу в додатковій обробці;
- мінімальний тепловий вплив – завдяки точному контролю температури та швидкості різання поверхні після обробки залишаються гладкими та без пошкоджень;
- гнучкість – лазерні різачи можуть використовуватися для різних видів металів і товщин матеріалів [18].

Гнучкий прес призначений для згинання металевих листів і профілів у задані форми. Він ґрунтується на механічному тиску та деформуванні матеріалу у заданих точках. Основні характеристики гнучких пресів [19]:

- точне гнуття – сучасні гнучкі преси дозволяють досягати заданих кутів і розмірів, що є критично важливим для якісної кінцевої обробки;

- висока якість готових виробів – правильне гнуття знижує ризик виникнення дефектів і деформацій, що підвищує довговічність готових виробів;

- адаптивність – гнучкі преси дозволяють обробляти матеріали різних розмірів і товщин [20].

Поєднання лазерного різання та гнуття листового металу у єдиному виробничому ланцюжку дає змогу суттєво підвищити ефективність виробництва. Лазерне різання забезпечує швидке та точне виготовлення деталей складних форм, тоді як гнучкий прес гарантує точне формування цих деталей у готові вироби. Така комбінація уможливорює скорочення виробничого циклу, досягнення стабільної якості продукції та зниження виробничих витрат.

1.3 Стандарти та вимоги до складського обладнання

При проєктуванні складського обладнання для промислових підприємств необхідно дотримуватись відповідних стандартів і нормативних вимог. Візок розроблявся з урахуванням таких основних вимог:

Геометричні характеристики: максимальні габаритні розміри для безперешкодного транспортування не перевищують $1\,400 \times 1\,260 \times 800$ мм. Конструкція передбачає 12 регульованих дворядних гнізд для інструментів, а також вилкові кишені розміром $(160 \times 85-195)$ мм для можливості транспортування ручним або електричним навантажувачем [2].

Статичні та динамічні характеристики: загальна маса конструкції знаходиться в межах 300–350 кг, несуча здатність одного гнізда для інструменту – не менше 300 кг; конструкція забезпечує стабільність при повному навантаженні.

Ергономічні вимоги: оптимальна висота для укладання інструменту – від 1 000 до 1 260 мм; конструкція розроблена з урахуванням ергономіки та зручності для користувача; передбачено ручки для зручного відкривання скринь; забезпечено добрий огляд та доступ до інструменту.

Вимоги до складання: передбачена можливість повного демонтажу; зварювання виключено – з'єднання здійснюється за допомогою болтів, клеїв або заклепок; модульність конструкції є обов'язковою.

Вимоги до технічного обслуговування: мінімальне або нульове обслуговування; доступ до всіх механічних вузлів (змащення коліс); можливість заміни деталей; поверхні, стійкі до чистячих засобів.

Вимоги до безпеки та надійності: безпечне поводження з виробом; відсутність гострих кромek; стійкість до ударів; попереджувальне маркування; тривалий термін служби; стійкість до зносу.

Естетичні вимоги: промисловий дизайн; відповідність зовнішнього вигляду; привабливий і сучасний вигляд – корпус пофарбований у колір блакитний RAL 5010 (Gentian blue), скрині – у колір сірувато-білий RAL 9002.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Концептуальне проєктування та формування технічного завдання

Комплексний розвиток виробу охоплює чотири фази: планування, концептуальне проєктування, конструювання та детальну розробку [2]. Цей процес є вирішальним для забезпечення технологічної досконалості кінцевого виробу, оптимізації виробничих процесів і відповідності всім передбаченим вимогам.

На початковому етапі зосереджено увагу на цілях виробу та потребах користувачів. Проведено ринкове дослідження з вивченням наявних рішень і виробів. Проаналізовано технічні характеристики потенційних продуктів. Розпочато планування технологічного процесу виробництва з метою запобігання можливим труднощам при виконанні лазерного різання та гнуття листового металу.

У наступній фазі, після обговорення і прийняття рішень, обрано варіант 5 (рисунок 1.5). Вибір концепції ґрунтується на основній функції шафи – відкриванні вертикальних висувних скринь. Цей концепт є найбільш практичним для лабораторії факультету, оскільки візок розташовуватиметься поблизу CNC-гнучкого преса, де найчастіше використовується інструмент [8, 16, 22].

Таке рішення забезпечує швидкий і зручний доступ до інструменту та можливість його використання з обох боків. Крім того, даний концепт поліпшує організованість і наочність наявного інструменту при висуванні скрині. Допоміжною функцією є регульованість висоти та ширини гнізд для інструментів, що дозволяє розміщувати інструменти різних розмірів і типів. Додатковий захист інструментів забезпечує концепція закритого корпусу візка.

Технічне завдання визначає три категорії вимог:

– Обов’язкові вимоги (Б) – безумовно виконуються для забезпечення функціональності виробу: висувні скрині, регульованість, транспортабельність, вилкові кишені, несуча здатність, стабільність, можливість повного демонтажу, модульність.

– Мінімальні вимоги (М) – виконуються у заданому мінімальному обсязі; їх перевиконання означає підвищення якості рішення: ергономічна висота, ручки, хороша оглядовість та доступ, наявність стандартних елементів, можливість заміни деталей.

– Бажані вимоги (Б) – не безпосередньо впливають на функціональне рішення, але підвищують якість рішення: просте обслуговування, привабливий і сучасний вигляд, мінімальне зусилля при висуванні скринь.

Таблиця 2.1 – Специфікація вимог до складського візка для гнучкого інструменту

Вимога	Значення	Тип
Макс. габарити для транспортування	(1400 × 1260 × 800) мм	О
Місткість	12 регульованих дворяд. гнізд	О
Вилкові кишені (для навантажувача)	(160 × 85–195) мм	О
Загальна маса конструкції	300–350 кг	О
Несуча здатність гнізда	300 кг	О
Стабільність при повному навантаженні	–	О
Оптимальна висота для укладання	1000–1260 мм	Б
Ергономічне виконання	–	М
Ручки для відкривання скринь	–	М
Повний демонтаж	–	О
Модульність	–	О
Безпечне поводження	–	О
Відсутність гострих кромek	–	О
Колір корпусу	RAL 5010 (Gentian blue)	М
Колір скринь	RAL 9002 (сіро-білий)	М

2.2 Розрахунок несучої здатності та ємності

Для визначення потрібної несучої здатності конструкції розраховано масу всього наявного гнучкого інструменту на підставі даних програмного забезпечення гнучкого преса і каталогу гнучкого інструменту [9]. Ці розрахунки необхідні для вибору стандартних комплектуючих з відповідними характеристиками несучої здатності.

Наявний набір гнучкого інструменту складається з чотирьох типів: (Таблиця 2.2)

Таблиця 2.2 – Розрахунок мас гнучкого інструменту за даними каталогу

Тип інструменту	Довжина, м	Питома маса, кг/м	Маса, кг
OW 200	1,050	28,9	$\approx 30,35$
OW202	2,050	19,5	$\approx 39,98$
EV 005	2,050	23,6	$\approx 48,38$
EV W30	1,050	38,2	$\approx 40,11$
РАЗОМ	—	—	$\approx 158,82$ кг

Загальна розрахункова маса всього наявного гнучкого інструменту становить приблизно 174,63 кг (з урахуванням уточнених значень з каталогу). З урахуванням коефіцієнта запасу для вибору несучих елементів конструкції мінімальна несуча здатність одного гнізда прийнята рівною 300 кг.



ІНСТРУМЕНТ 1
 Модель: **OW200/K R1/86 H120**
 • Назва: OW200
 • Висота: 120 мм
 • Радіус: 1 мм
 • Кут: 86°
 • Зусилля пресування: 800 кН



ІНСТРУМЕНТ 2
 Модель: **OW202/K R1/28 H120**
 • Назва: OW202
 • Висота: 120 мм
 • Радіус: 1 мм
 • Кут: 28°
 • Зусилля пресування: 600 кН



ІНСТРУМЕНТ 3
 Модель: **EV005 W16/30 R1.6**
 • Назва: EV005
 • Висота: 100 мм
 • Ширина V-канавки: 16 мм
 • Ширина V-канавки: 30 мм
 • Кут: 30°
 • Радіус: 1.6 мм
 • Зусилля пресування: 500 кН



ІНСТРУМЕНТ 4
 Модель: **EV W30/30 R3**
 • Назва: EV W30/30
 • Висота: 100 мм
 • Ширина V-канавки: 30 мм
 • Кут: 30°
 • Радіус: 3 мм
 • Зусилля пресування: 500 кН

ІНВЕНТАР
 Скинути до нуля Додати все

- 0 x ☐ 10 мм
- 0 x ☐ 15 мм
- 0 x ☐ 20 мм
- 0 x ☐ 25 мм
- 0 x ☐ G25 (M)
- 0 x ☐ G25 (WL)
- 1 x ☒ 30 мм
- 1 x ☒ 35 мм
- 1 x ☒ 40 мм
- 1 x ☒ 45 мм
- 1 x ☒ 50 мм
- 1 x ☒ 100 мм
- 1 x ☒ L100
- 1 x ☒ R100
- 1 x ☒ 200 мм
- 1 x ☒

Загальна довжина: **1050 мм**

ІНВЕНТАР
 Скинути до нуля Додати все

- 0 x ☐ 10 мм
- 0 x ☐ 15 мм
- 0 x ☐ 20 мм
- 0 x ☐ 25 мм
- 0 x ☐ G25 (M)
- 0 x ☐ G25 (WL)
- 1 x ☒ 30 мм
- 1 x ☒ 35 мм
- 1 x ☒ 40 мм
- 1 x ☒ 45 мм
- 1 x ☒ 50 мм
- 1 x ☒ 100 мм
- 1 x ☒ L100
- 1 x ☒ R100
- 1 x ☒ 200 мм
- 1 x ☒

Загальна довжина: **2050 мм**

ІНВЕНТАР
 Скинути до нуля Додати все

- 0 x ☐ 10 мм
- 0 x ☐ 15 мм
- 0 x ☐ 20 мм
- 0 x ☐ 25 мм
- 1 x ☒ V25
- 1 x ☒ 30 мм
- 1 x ☒ 35 мм
- 1 x ☒ 40 мм
- 1 x ☒ 45 мм
- 1 x ☒ 50 мм
- 1 x ☒ 100 мм
- 3 x ☒ 100 мм

Загальна довжина: **2050 мм**

ІНВЕНТАР
 Скинути до нуля Додати все

- 2 x ☒ 25 мм
- 0 x ☐ V25
- 1 x ☒ 30 мм
- 1 x ☒ 35 мм
- 1 x ☒ 40 мм
- 1 x ☒ 45 мм
- 1 x ☒ 50 мм
- 1 x ☒ 100 мм

Загальна довжина: **1050 мм**

OW200: 1,050 м × 28,9 кг/м = 33,705 кг **EV005: 2,050 м × 23,6 кг/м = 55,555 кг**
OW202: 2,050 м × 19,5 кг/м = 42,845 кг **EV W30: 1,050 м × 38,2 кг/м = 42,525 кг**

СКУПНО: (4 навори листозгинального обладнання) => **≈ 174,63 кг**

Рисунок 2.1 – Набір гнучкого інструменту для CNC-преса TruBend 3066 (дані програмного забезпечення).

2.3 Вибір стандартних комплектуючих

Після розрахунку маси інструменту, складання технічного завдання і визначення основних та допоміжних функцій візка весь спектр концепції було достатньо прояснено, що дозволило обрати стандартні комплектуючі, які виконуватимуть передбачені функції і відповідатимуть вимогам технічного завдання.

Виготовлення візка для гнучкого інструменту вимагає ретельного вибору стандартних деталей, що забезпечують функціональність і довговічність. Акцент зроблено на якісних комплектуючих, таких як міцна конструкція, колеса з підвищеною несучою здатністю та ергономічні ручки для зручного пересування.

Обраний перелік стандартних комплектуючих:

– ROAD напрямна О фіксована – для фіксованого прямого руху скринь [10];

- WTO 825 ролики з О-пазом + оправка – для плавного руху скринь у направляючих [11];
- SR 2 напрямна плита з двома колесами – для стабілізації руху скринь [12, 13, 16];
- фіксоване колесо зі сталевго листа В-VSTH 60K – для статичної опори конструкції [13];
- меблева ручка HETTICH DIY, FI 20 мм, хром – для зручного відкривання скринь [14];
- гарячекатані сталеві профілі UPN (профіль 300) – для несучої рами конструкції [15];
- листовий метал товщиною 2–4 мм – основний конструктивний матеріал [16].

2.3.1 D-модельювання в SolidWorks

Фаза конструювання є ключовою, оскільки у ній обраний концепт перетворюється на детальне технічне рішення, готове для виробництва. На цьому етапі було розроблено точну САПР-модель і обрано матеріали та монтажні позиції стандартних деталей. Кінцеву САПР-модель складського візка для гнучкого інструменту розроблено в програмному пакеті SolidWorks, що підтримує тривимірне моделювання.

Основними перевагами конструювання в зазначеній програмі є легша візуалізація кінцевого виробу, спрощення налаштування моделі та швидке впровадження змін, що скорочує час розробки. Водночас програма забезпечує інтеграцію з системами САПР/САВТ, що спрощує передачу даних у виробництво та гарантує відповідну ефективність виробничої реалізації [2].

Конструкція включає такі основні елементи: верхнє покриття, задню панель, бічні стінки, С-профілі основи, нижні підсилюючі елементи, підставку для коліс, направляючі для скринь, самі скрині з ребрами жорсткості та гніздами для інструменту, а також направляючі та ручки. Загальна маса конструкції відповідно до САПР-моделі становить 330 кг.

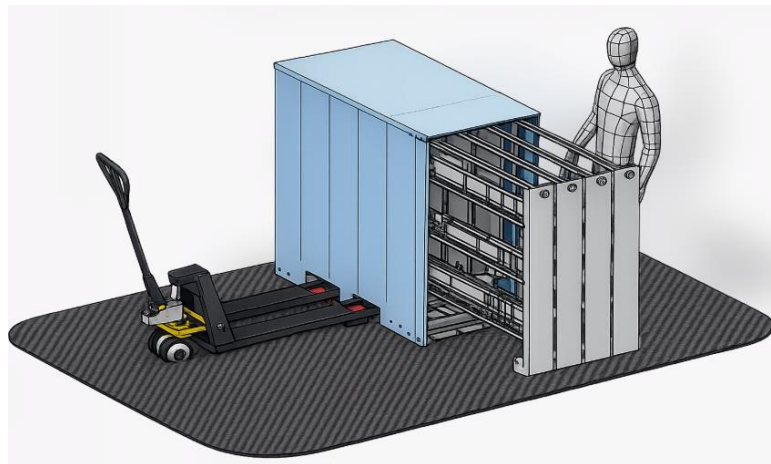


Рисунок 2.2 – 3D-модель складського візка в програмному середовищі SolidWorks із зображенням сцени транспортування навантажувачем.

2.3.2 МСЕ-статичний аналіз конструкції. Постановка задачі

Зважаючи на значну масу конструкції, для забезпечення її безпечності та оптимальної міцності при передбачених навантаженнях проведено статичний аналіз методом скінченних елементів (МСЕ) у програмі SolidWorks Simulation. Основна мета цього аналізу – перевірити несучу здатність найбільш навантажених елементів візка.

Найбільші навантаження на конструкцію виникають під час транспортування (підйому) візка навантажувачем, при цьому максимальне навантаження припадає на підставку передніх коліс, яка виконує функцію їх несучого елемента. Задня частина візка є дуже міцною і стабільною, оскільки спирається на потужну основу з двома С-профілями і підсилювачами. Критично важливою є також довжина гнізда для інструменту, яке сприймає значну масу по всій довжині – з урахуванням можливого прогину.

Статичний аналіз проводився при порожніх скринях, тому при транспортуванні на практиці також рекомендується дотримуватись цієї умови.

При статичному аналізі компонентів візка важливо, щоб передбачені умови були якомога точнішими і реалістичними. Таким чином

забезпечується безпека і ефективність конструкції при її практичному застосуванні. Перелік ключових припущень, що використовувались при проведенні аналізу компонентів: матеріал, геометрія компонента, сила, позиції та властивості з'єднувальних елементів (болти, гайки), фіксована геометрія, сітка (якнайдрібніша для точності результатів).

В аналізі не використовувалась повна збірна модель візка, оскільки через її масштабність симуляція була б перевантажена щодо результатів. Замість цього використовувались замінні опори, що відтворюють ті самі умови для компонента, що і в повній збірці, що дозволило спростити калькуляцію симуляції (рис.2.3-2.9).

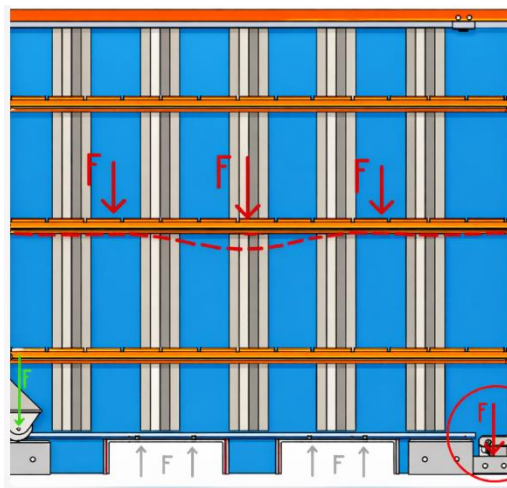


Рисунок 2.3 – Критична зона при підйомі конструкції навантажувачем

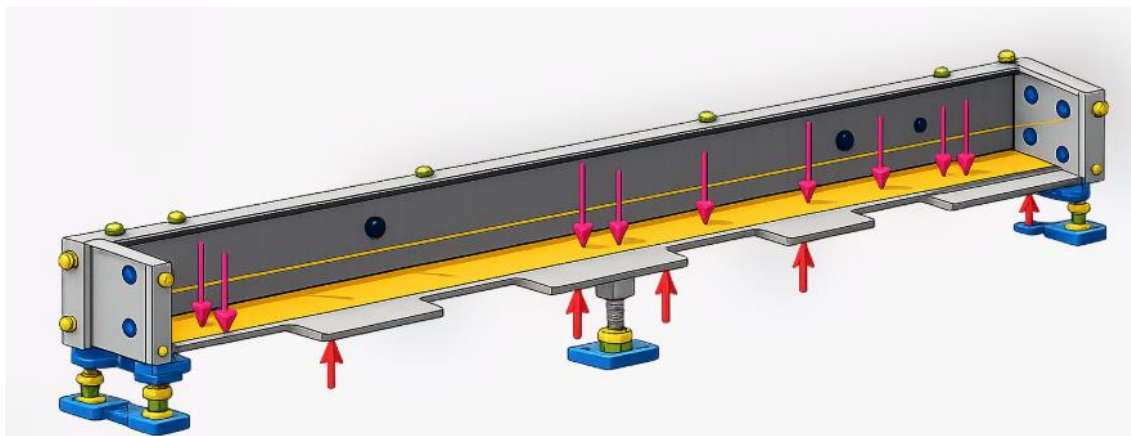


Рисунок 2.4 – Передбачені умови симуляції навантажень підставки передніх коліс.

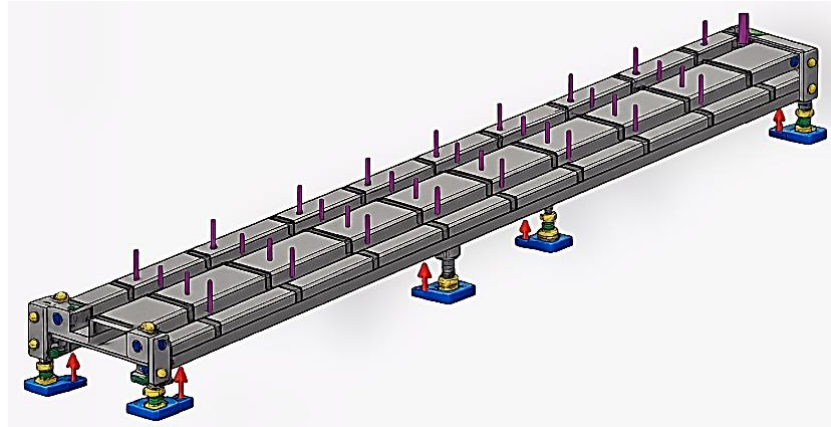


Рисунок 2.5 – Передбачені умови симуляції навантажень гнізда для інструменту.

2.3.3 Аналіз підставки передніх коліс

Матеріал підставки: сталь 1.0037 (S235JR), межа плинності $2,35 \times 10^8$ Н/м², товщина листа 4 мм. Прикладене навантаження: 200 кг (понад половина загальної маси конструкції), що забезпечує додатковий запас міцності.

Результати аналізу напружень за критерієм фон Мізеса показали, що максимальні напруження зосереджені в зонах вигину листового металу і становлять близько $4,312 \times 10^7$ Н/м². Порівняння з межею плинності матеріалу ($2,35 \times 10^8$ Н/м²): запас міцності становить приблизно 5,45, що свідчить про надійну конструкцію.

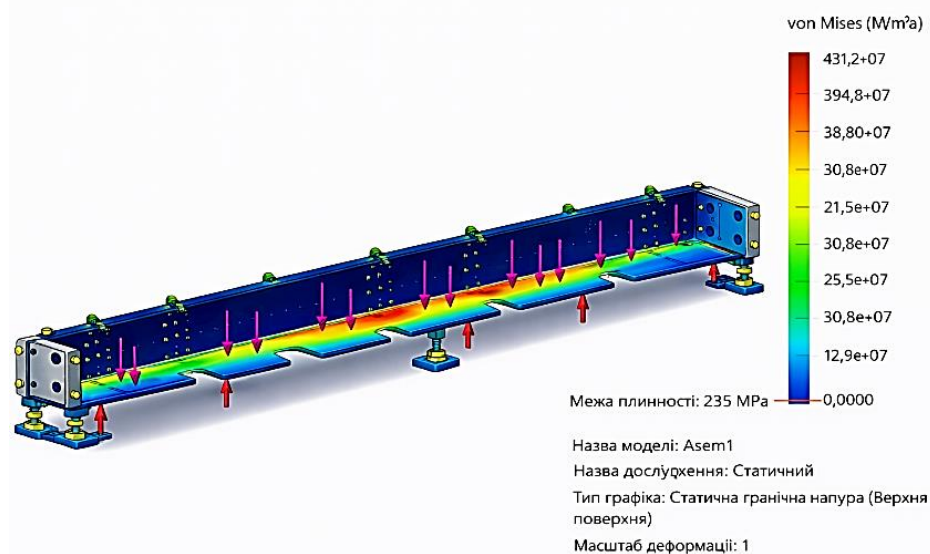


Рисунок 2.6 – Розподіл напружень за критерієм фон Мізеса для підставки передніх коліс (максимальне значення $4,312 \times 10^7$ Н/м²) [14]

Результати аналізу деформацій (ESTRN): максимальне значення деформації становить $2,785 \times 10^{-4}$, що свідчить про відносно малу деформацію; більші значення спостерігаються у зонах максимальних напружень.

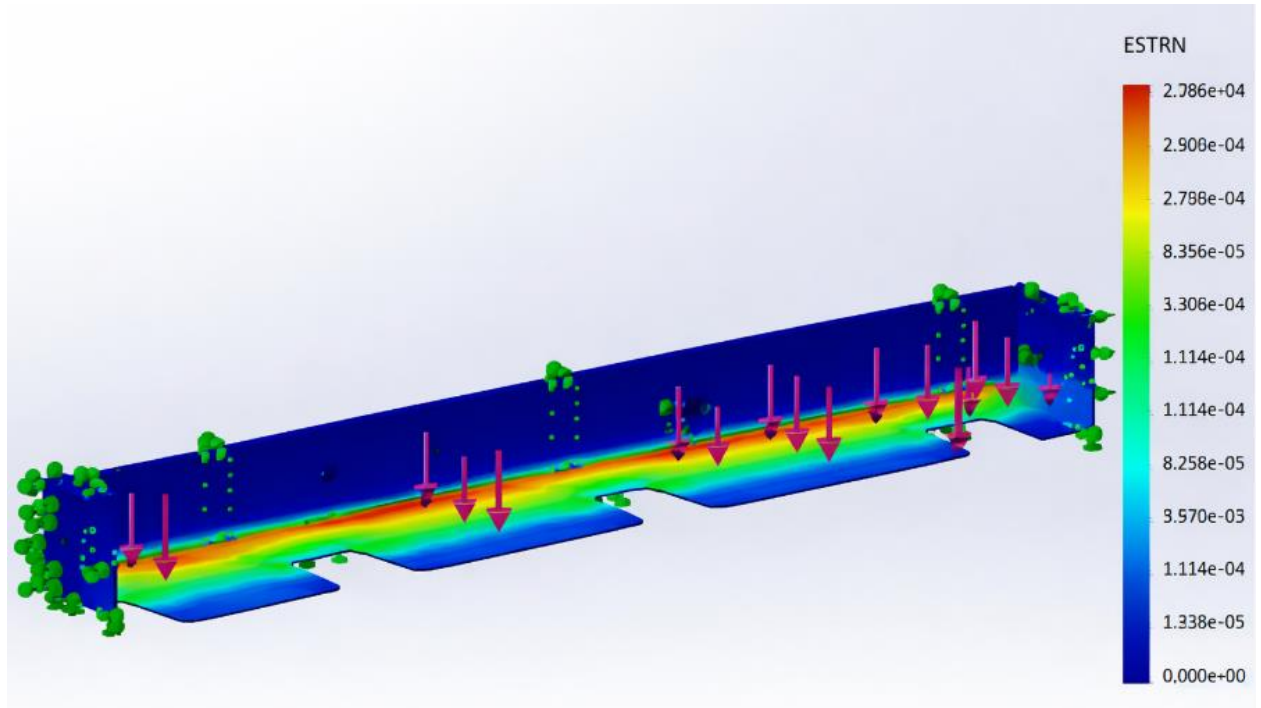


Рисунок 2.7 – Розподіл екстремальних деформацій (ESTRN) підставки передніх коліс (максимум $2,785 \times 10^{-4}$)

Результати аналізу переміщень (URES): максимальне переміщення становить приблизно 0,77 мм. Переміщення є більшими у зонах без фіксованих опор, що є закономірним. Болтові з'єднання (6 болтів) з запасом сприймають всі навантаження від підйому конструкції навантажувачем. ‘

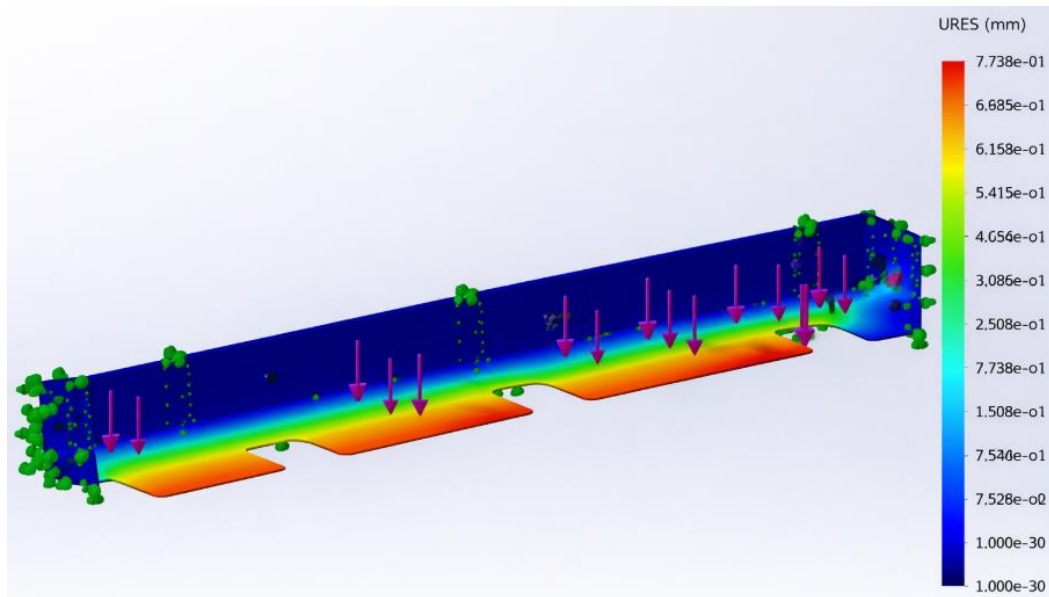


Рисунок 2.8 – Загальні переміщення (URES) підставки передніх коліс (максимум 0,77 мм)

Назва дослідження: Статичне 3

З'єднувач: Всі болти Units: SI

Тип з'єднувача: Болт

Тип	X-компонент	Y-компонент	Z-компонент	Рівнодійна	З'єднувач
Надпоперечна сила (N)	0	-2,5212e-05	7,5344e-06	2,6314e-05	Потайний болт-1
Поздовжня сила (N)	0,00015587	0	0	0,00015587	Потайний болт-1
Згинальний момент (N.m)	0	7,8156e-08	2,5946e-07	2,7098e-07	Потайний болт-1
Axial Force (N)	-6,6297e-05	-1,8184e-07	-1,4658e-05	1,466e-07	Потайний болт-1
Надпоперечна сила (N)	0	-0	-0	-6,6297e-07	Потайний болт-2
Поздовжня сила (N)	0,00018095	0,03333966	2,5381e-09	1,8196e-07	Потайний болт-2
Згинальний момент (N.m)	-0	-0	0	0,00038485	Потайний болт-2
Axial Force (N)	3,8897e-06	-2,3659e-06	-0	4,5526e-07	Потайний болт-3
Надпоперечна сила (N)	0,00023072	0,00055981	0,0017485	0,00050549	Потайний болт-4
Згинальний момент (N.m)	-0	-0	-0	-0,00175342	Потайний болт-4
Axial Force (N)	7,6937e-06	-2,9409e-06	-0,0017554	8,2366e-07	Потайний болт-5
Shear Force (N)	0	-8,5206e-07	0	1,8846e-06	Потайний болт-5
Axial Force (N)	2,9249e-06	-0	-1,681e-06	-7,9735e-07	Потайний болт-6
Недпоперечна сила (N.m)	0	2,747e-06	-1,107e-05	0,00017342	Потайний болт-6
Згинальний момент (N.m)	-0,00062788	-7,6639e-07	5,9967e-05	0,00011207	Потайний болт-6

Закрити Зберегти Допомога

Рисунок 2.9 – Сили в болтових з'єднаннях підставки передніх коліс

Висновок за результатами аналізу підставки: зона максимальних напружень є дуже малою і навантаження локалізоване, тому її вплив на всю конструкцію незначний. Компонент додатково стабілізують шість болтів, які

з достатнім запасом сприймають навантаження. Прогин залишається в допустимих межах (0,77 мм), що забезпечує достатню жорсткість несучого елемента. Подовження (strain) знаходяться в прийнятних межах щодо підвищеного навантаження, що означає відсутність ризику місцевих деформацій.

2.3.4 Аналіз гнізда для інструменту

Матеріал гнізда: нержавіюча сталь AISI 304 / 1.4301, межа плинності $2,35 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$. Прикладене навантаження: 300 кг (відповідає вазі інструменту згідно з технічним завданням).

Результати аналізу напружень за критерієм фон Мізеса показали, що максимальні напруження зосереджені у певних місцях болтових з'єднань і становлять близько $1,786 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$, але не перевищують межу плинності матеріалу, що гарантує безпечну роботу можливих отворів. Через перевантаження середньої частини гнізда в початкових симуляціях знадобилося додати підсилюючий елемент знизу конструкції (рис. 2.10-2.13).

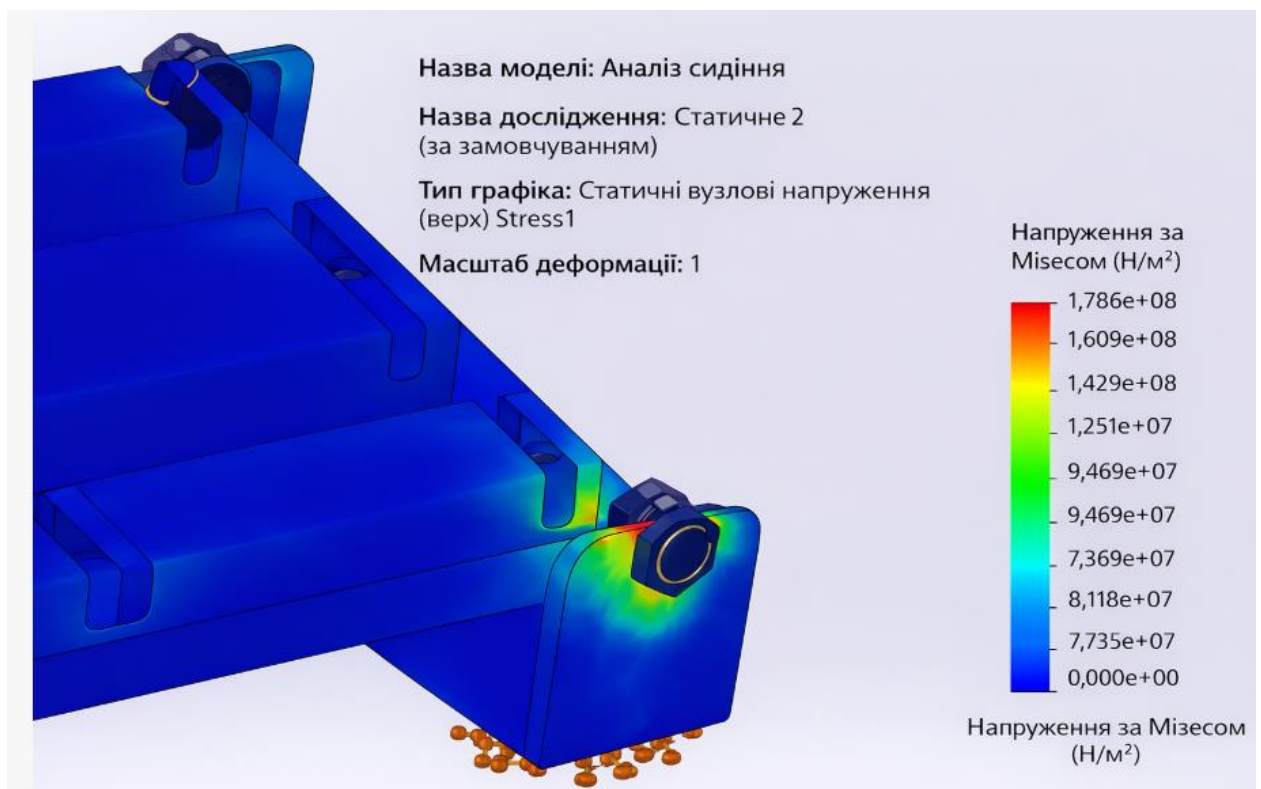


Рисунок 2.10 – Розподіл напружень за критерієм фон Мізеса для гнізда інструменту (максимальне значення $1,786 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$)

Результати аналізу деформацій (ESTRN): максимальне значення деформації становить $4,339 \times 10^{-4}$, що свідчить про відносно малу деформацію. Завдяки додатковому нижньому підсилюючому елементу вдалося перевести всю конструкцію з червоної в синю зону навантажень.

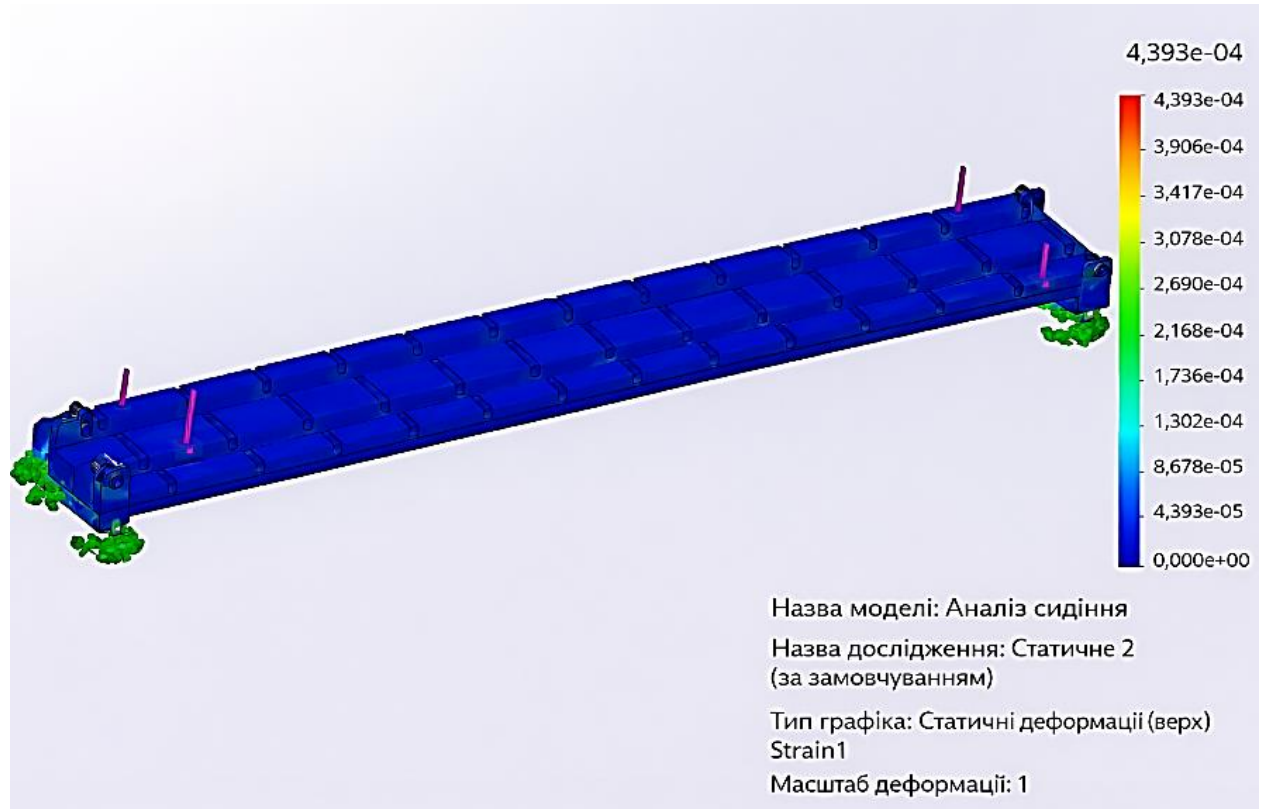


Рисунок 2.11 – Розподіл екстремальних деформацій (ESTRN) гнізда для інструменту (максимум $4,339 \times 10^{-4}$)

Результати аналізу переміщень (URES): максимальне переміщення становить приблизно 0,066 мм – спостерігається в середній частині, що є очікуваним, і залишається в прийнятних межах. Завдяки додатковому нижньому підсиленню цей показник вдалося суттєво зменшити. Подовження (strain) є низькими і рівномірно розподіленими, що означає відсутність ризику місцевих деформацій або постійних пошкоджень конструкції.

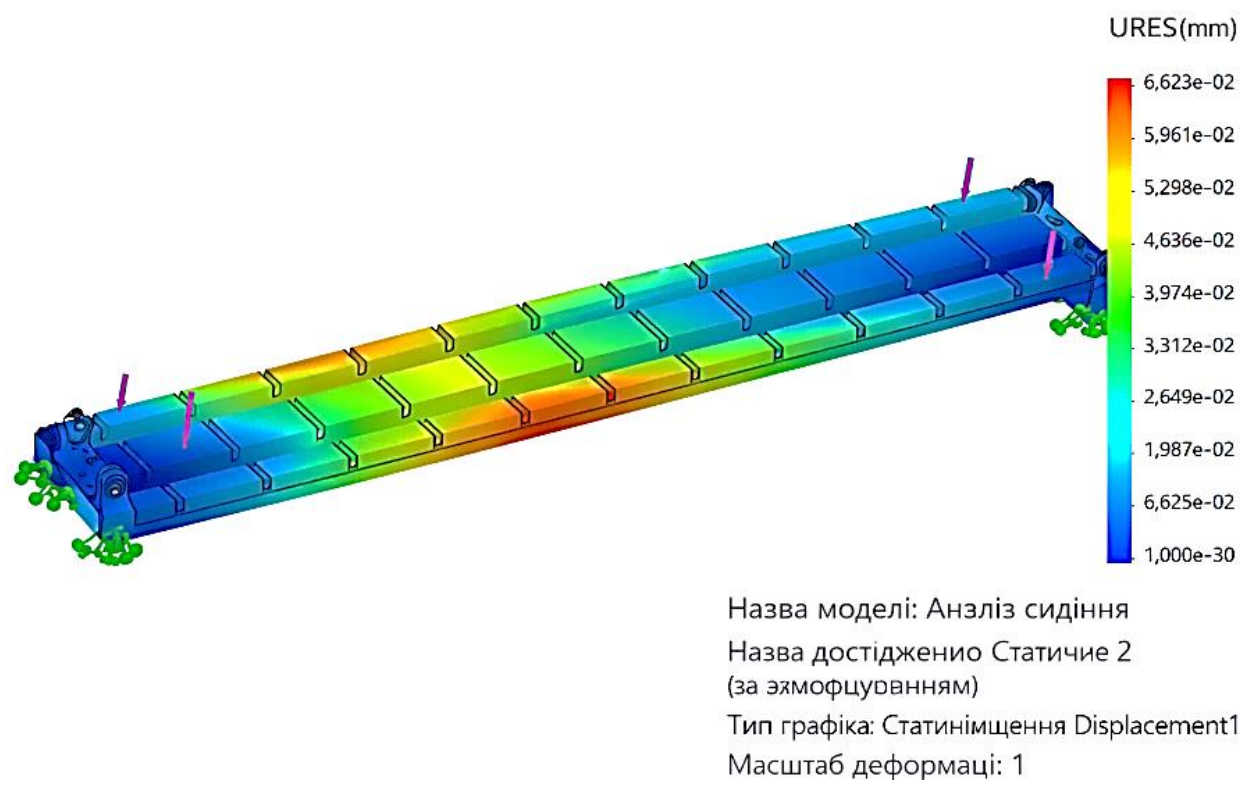


Рисунок 2.12 – Загальні переміщення (URES) гнізда для інструменту (максимум 0,066 мм)

З'єднувач: Статичне 2

З'єднувач: Units:

Тип з'єднувача: З'єднувач

Тип	X-компонент	Y-компонент	Z-компонент	Рівнодійна	З'єднувач
Надпоперечна сила (N)	0	-96,782	-24,326	99,792	Потайний болт з гайкою-1
Axial Force (N)	12,471	0	0	12,471	Потайний болт з гайкою-1
Згинальний момент (N.m)	0	-0,509511	-2,0006	2,0645	Потайний болт з гайкою-1
Торгов (N.m)	0	0	0	0	Потайний болт з гайкою-1
Shear Force (N)	0	-60,141	10,314	61,019	Потайний болт з гайкою-2
Axial Force (N)	-12,495	0	0	12,495	Потайний болт з гайкою-2
Згинальний момент (N.m)	0	-0,2128	0,031087	1,0352	Потайний болт з гайкою-2
Торгов (N.m)	0	0	0	0	Потайний болт з гайкою-3
Shear Force (N)	0	-63,733	31,639	12,495	Потайний болт з гайкою-3
Axial Force (N)	-12,495	0	0	12,495	Потайний болт з гайкою-3
Згинальний момент (N.m)	0	-0,1101	1,1626	1,1678	Потайний болт з гайкою-3
Торгов (N.m)	0	0	0	0	Потайний болт з гайкою-4
Shear Force (N)	12,489	-102,95	-31,79	107,74	Потайний болт з гайкою-4
Axial Force (N)	0	0	0	12,489	Потайний болт з гайкою-4
Згинальний момент (N.m)	0	0,40569	-1,8102	1,8551	Потайний болт з гайкою-4
Торгов (N.m)	0	0	0	0	Потайний болт з гайкою-4

Рисунок 2.13 – Сили в болтових з'єднаннях гнізда для інструменту
Узагальнена таблиця результатів МСЕ-аналізу наведено в **таблиці**

Таблиця 2.3 – Узагальнені результати МСЕ-статичного аналізу компонентів конструкції

Параметр	Підставка коліс	Гніздо інструменту
Матеріал	S235JR	AISI 304
Навантаження	200 кг	300 кг
Межа плинності	$2,35 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$	$2,35 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$
Макс. напруж. (BM)	$4,31 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$	$1,79 \times 10^8 \text{ Н/м}^2$
Запас міцності	$\approx 5,45$	$\approx 1,31$
Макс. переміщ. (URES)	0,77 мм	0,066 мм
Макс. деформ. (ESTRN)	$2,785 \times 10^{-4}$	$4,339 \times 10^{-4}$
Оцінка	ЗАДОВІЛЬНО	ЗАДОВІЛЬНО

2.4. Підготовка технології виробництва

2.4.1 Обладнання лабораторії

Для виробництва складського візка заплановано використання двох одиниць обладнання технологічної лабораторії факультету.

Лазерний різак Bodor i7 [21] – це високоточний, повністю закритий інтегрований лазерний різак для сталей (зокрема нержавіючих) та інших матеріалів (алюміній, латунь). Оснащений ітербієвим волоконним джерелом лазерного променя. Товщина різання листа залежить від виду матеріалу і застосованого ріжучого газу (азот або кисень). Має компактну конструкцію та електричні підйомні ворота для зручного завантаження і розвантаження.

Основні технічні характеристики лазерного різка Bodor i7: робоча зона – $3\,048 \times 1\,524 \text{ мм}^2$; потужність лазерного джерела – 3 000 Вт; точність позиціонування – $\pm 0,05 \text{ мм}$; максимальна швидкість осей X/Y – 100 м/хв.



Рисунок 2.14 – Лазерний різак Bodor i7

Гнучкий прес TruBend 3066 [22] – виріб компанії TRUMPF, відомий своєю точністю та ефективністю. Оснащений сучасним контролером, що дозволяє виконувати симуляцію гнуття листового металу з використанням цифрового двійника. Для автоматичного вимірювання кута і поточної компенсації пружного відновлення використовується лазер АСВ, а точне позиціонування листа перед гнуттям забезпечується 4-осьовою системою заднього обмежувача, яка також підтримує підключення промислового робота (рис. 2.14 -2.19).

Основні технічні характеристики гнучкого преса TruBend 3066: зусилля пресування – 660 кН; довжина гнуття – 2 040 мм; відстань між стояками – 2 364 мм; блок керування – T3500T мультисенсорний контролер; швидкість швидкого опускання – 200 мм/с, робоча швидкість – 15 мм/с; маса – 5 650 кг.



Рисунок 2.15 – Гнучкий прес TruBend 3066 у лабораторії факультету.

2.4.2 Програмування технологічного процесу

На завершальному етапі проведено фінальну симуляцію у програмі TruTops Boost для гнучких компонентів. У рамках симуляції перевірено відповідність конструкції компонентів, оскільки програма дозволила провести аналіз оптимальних кроків гнуття. Завдяки цьому усунуто всі технологічні обмеження компонентів візка.

У разі виявлення колізії знадобилося скоригувати конструкцію або знайти альтернативне рішення. Програма у таких випадках пропонувала змінити конструктивне рішення або придбати більш відповідний інструмент для гнуття, якщо наявний набір інструментів не дозволяв правильно виконати процес.

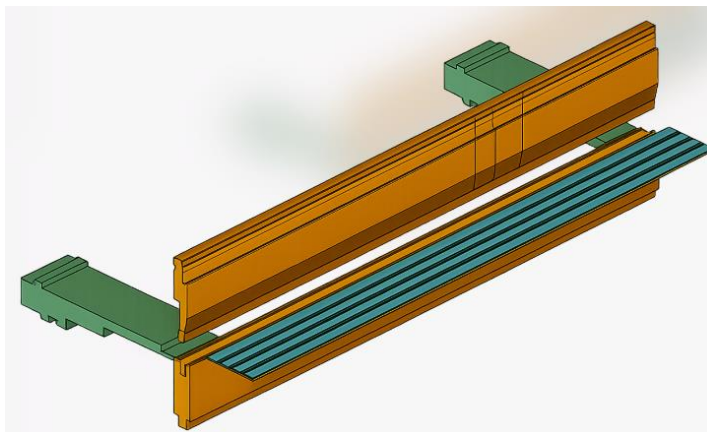


Рисунок 2.16 – Симуляція процесу гнуття у програмі TruTops Boost

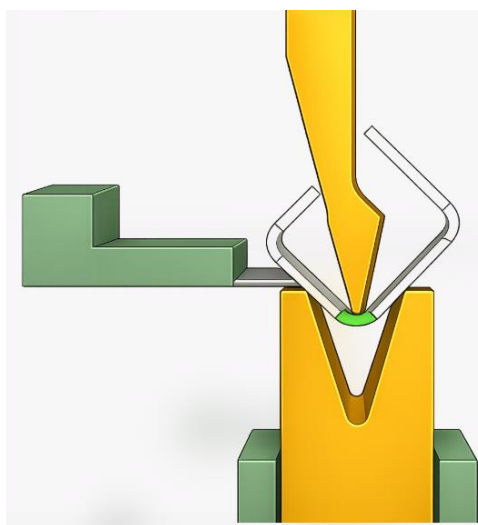


Рисунок 2.17 – Приклад успішного (реалізованого) гнуття без колізій

Колізії виникли у деталях, що закривалися у формі коробки, а також у деталях, де операції гнуття виконувались на малій відстані. Особливо це було помітно на вертикальних підсилювачах (рисунок 3.18), які згодом були перепроєктовані та адаптовані з новою конструкцією (рисунок 3.19).

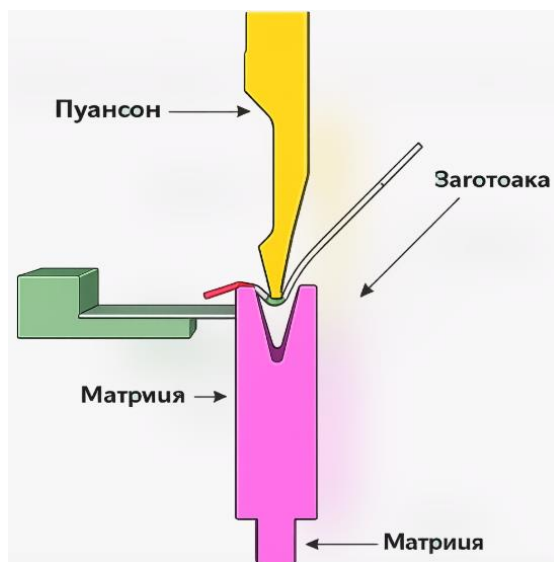


Рисунок 2.18 – Виявлена колізія при гнутті вертикального підсилювача (симуляція TruTops Boost)

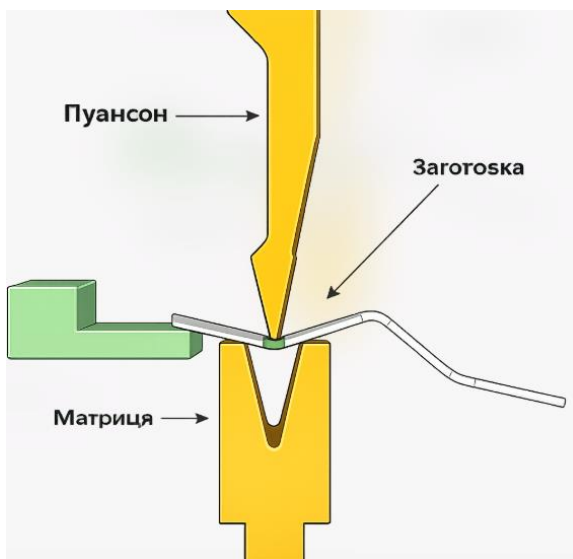


Рисунок 2.19 – Нова конструктивна рішення вертикального підсилювача, що усуває колізію

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Вимоги безпеки при експлуатації складського візка

Безпека праці при роботі зі складським візком для гнучкого інструменту є комплексним питанням, що охоплює декілька аспектів. При конструюванні та експлуатації виробу необхідно суворо дотримуватись відповідних нормативно-правових вимог у сфері охорони праці та промислової безпеки.

Конструктивні вимоги безпеки при виробництві і монтажі включають: відсутність гострих кромek і задирок на всіх деталях конструкції після лазерного різання (всі кромки підлягають обробці або деберуванню); забезпечення надійності болтових з'єднань відповідно до розрахункових навантажень; застосування замкових гайок або контргайок для запобігання самовільному відкручуванню; нанесення повного маркування на видних місцях (максимально допустиме навантаження, попереджувальні знаки).

Вимоги до конструктивних елементів безпеки: наявність стопорів скринь для запобігання їх самовільному відкриванню під час транспортування; забезпечення стабільності у висунутому положенні скринь (механізм фіксації); захисне покриття поверхонь, що запобігає корозії та полегшує чищення; нанесення антиковзного покриття на горизонтальні поверхні, якщо на них передбачається ходіння персоналу.

3.2 Ергономіка та безпека праці при роботі з гнучкими інструментами

Гнучкі інструменти для CNC-пресів є важкими і гострими металевими виробами, тому при роботі з ними необхідно дотримуватись відповідних заходів безпеки. Маса окремих типів інструменту досягає 38,2 кг/м (EV W30), а сумарна маса повного набору – приблизно 174,63 кг.

При ручному переміщенні та встановленні гнучкого інструменту необхідно: використовувати захисні рукавиці стійкі до порізів; застосовувати підйомні пристосування (підйомні скоби, гачки) для довших і важчих секцій;

переміщати секції інструменту разом з колегою при масі понад 25 кг; стежити за правильним положенням тіла (вертикальна спина, ноги зігнуті в колінах при підйомі); розміщати гнізда для інструменту на ергономічно зручній висоті від 1 000 до 1 260 мм.

Конструкція візка з висувними вертикальними скринями, гніздами-підставками та ручками суттєво знижує ризик ергономічних ушкоджень порівняно із нинішнім способом зберігання. Висувний доступ дозволяє інструменту ковзати у горизонтальному напрямку і виключає необхідність підйому важких секцій над головою.

Загальні вимоги до захисного спорядження: захисне взуття зі сталевим носком і антипробивною підошвою; захисні рукавиці для роботи з гострими металевими виробами; захисний одяг з довгим рукавом для захисту від порізів; захист очей при роботі поблизу лазерного різака або гнучкого преса.

3.3 Безпека при транспортуванні за допомогою навантажувача

Транспортування важкого складського візка з інструментом вимагає особливої уваги. Повна маса візка з інструментом може досягати $330 + 174 = 504$ кг. Для транспортування передбачені вилкові кишені розміром $(160 \times 85-195)$ мм, що відповідають стандартним розмірам вилок навантажувача.

При транспортуванні навантажувачем необхідно: переконатись, що всі скрині повністю закриті і заблоковані; відповідно до рекомендацій виробника – по можливості транспортувати при порожніх скринях (підтверджено симуляцією МСЕ); перевірити правильне введення вилок у вилкові кишені; забезпечити стійкість вантажу за допомогою кріпильних засобів; обмежити максимальну швидкість переміщення навантажувача до 5 км/год; забезпечити звукову та світлову сигналізацію при русі навантажувача.

Зона навколо візка під час транспортування повинна бути вільною від сторонніх осіб. Транспортування має здійснюватись лише персоналом з відповідним навчанням і допуском до роботи на навантажувачі.

Вимоги до обслуговування і технічного огляду: регулярний огляд стану болтових з'єднань (підтяжка при ознаках ослаблення); змащення вузлів ковзання скринь відповідно до рекомендацій виробника комплектуючих; огляд стану коліс на предмет зносу і пошкоджень; негайне виведення з експлуатації при виявленні ознак деформації або пошкодження конструкції. Записи про технічне обслуговування та огляди рекомендується вести у відповідному журналі.

4. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Складський візок для гнучких інструментів розроблено на основі наявних продуктів-аналогів, при цьому збережено ключові конструктивні особливості, а також насамперед найважливіші функції, що відповідають призначенню виробу для зберігання гнучкого інструменту. З метою забезпечення оптимальної функціональності сконструйовано всі стандартні компоненти і поступово адаптовано конструкцію до вимог, досягнувши таким чином всіх допоміжних та основних функцій.

Ергономічна конструкція забезпечує просте й інтуїтивне керування, що підвищує ефективність праці та знижує фізичне навантаження на персонал. Реалізовано:

- оптимальна висота зберігання 1 000–1 260 мм для зручного доступу;
- горизонтальний висувний рух скринь, що виключає необхідність підйому важкого інструменту;
- ручки з зручним захватом;
- двосторонній доступ до інструменту.

Через значну масу інструменту для забезпечення безпеки персоналу та стабільності конструкції проведено статичну симуляцію МСЕ. Симуляція показала, що візок ефективно витримує передбачені навантаження без надмірних деформацій або зниження стабільності. Потребу в стабільності успішно вирішено за рахунок додаткових підсилюючих елементів. Аналіз матеріалів підтвердив, що обрані матеріали (нержавіюча сталь AISI 304 і конструкційна сталь S235JR) забезпечують достатню міцність і довговічність.

Ключові результати МСЕ-аналізу свідчать, що запас міцності підставки коліс становить 5,45 – значно вище мінімально допустимого значення 1,5. Гніздо для інструменту після додання нижнього підсилювача має запас міцності 1,31 – у межах прийнятного значення для статичного навантаження.

Максимальні переміщення є незначними (0,77 мм і 0,066 мм відповідно), що свідчить про задовільну жорсткість конструкції.

З точки зору виробничого аспекту для досягнення оптимізації виготовлення на CNC-верстатах у лабораторії факультету всі технологічні обмеження гнуття листового металу усунено за допомогою програми TruTops Boost. Оптимізація конструкції дозволила знизити масу візка при одночасному збереженні його міцності. Крім того, конструкцію розроблено таким чином, щоб повністю виключити зварювання з виробничого процесу, що підвищує повторюваність виготовлення і знижує виробничі витрати.

Технічна документація підготовлена у форматах PDF і DXF, що забезпечує безпосередню сумісність із лазерним різакон і гнучким пресом лабораторії. Система нумерації деталей (позиції 1–33) і специфікація матеріалів дозволяють однозначно ідентифікувати кожен елемент конструкції.

Порівняно з існуючими ринковими аналогами, вартість яких становить від 1 500 до 5 000 євро, запропоноване рішення має такі переваги:

- можливість самостійного виготовлення в умовах лабораторії факультету;
- точне пристосування до конкретного набору гнучкого інструменту CNC-преса TruBend 3066;
- модульна конструкція, що допускає подальші модифікації та розширення;
- повна технічна документація для відтворення або адаптації конструкції;
- відсутність зварювання – суто роз’ємне болтове з’єднання.

Конструкція також відповідає принципам сталого розвитку: обраний матеріал (нержавіюча сталь AISI 304) є повністю придатним для вторинної переробки; модульна конструкція уможливорює заміну окремих компонентів замість утилізації всього виробу; мінімальне технічне обслуговування знижує споживання ресурсів протягом терміну експлуатації.

ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена розробці складського візка для гнучких інструментів, придатного для виготовлення за допомогою технологій лазерного різання та гнуття листового металу, наявних у лабораторії факультету. Розробка ґрунтується на сучасних інженерних підходах: тривимірному моделюванні, аналізі і симуляції навантажень, перевірці правильності конструкції гнутих деталей і підготовці виробництва.

Запропоноване рішення є хорошою ідейною основою для виробництва власного складського візка для інструментів у промисловості, незалежно від типу інструменту (фрезерний, свердлувальний, токарний тощо), оскільки адаптується лише гніздо для інструменту, тоді як вся конструкція залишається незмінною.

У процесі розробки візка здобуто цінний досвід:

- 3D-моделювання в SolidWorks з використанням складальних моделей та листових тіл;
- проведення симуляцій та аналізу навантажень методом скінченних елементів;
- перевірка правильності конструкції гнутих деталей у програмі TruTops Boost;
- оптимізація конструкції з урахуванням несучої здатності та стабільності;
- адаптація конструктивного рішення до виробничих обмежень;
- пошук відповідних технічних рішень у ринкових аналогах.

Незважаючи на досягнуті цілі, існують можливості для подальшого вдосконалення:

- застосування полегшених матеріалів (алюмінієвих сплавів) для зниження маси;
- модульна конструкція вузлів для ще спрощенішого складання;

- оптимізація виробничих витрат за рахунок перепроєктування деяких компонентів;
- додаткові функції: замикання скринь для підвищення безпеки;
- цифрова інтеграція: маркування QR-кодом для відстеження інструменту.

Для остаточного підтвердження всього циклу розробки рекомендується виготовити практичний прототип візка і на його основі усунути можливі недоліки або інші виробничі потреби.

Підсумовуючи, можна констатувати, що розробка складського візка для гнучких інструментів досягла всіх поставлених цілей. Представлено ефективне та оптимізоване рішення для зберігання, продовження терміну служби інструменту та підвищення ефективності транспортування й організації праці в лабораторії факультету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко В. С. Технологія обробки матеріалів різанням : підручник. – Київ : Вища школа, 2018. – 408 с.
2. Бондаренко Л. І. Основи машинобудування : навч. посіб. – Київ : Каравела, 2017. – 352 с.
3. Войтович І. Г., Попов В. О. Лазерні технології обробки матеріалів : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 270 с.
4. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М. Технологічне обладнання машинобудівних підприємств : навч. посіб. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 356 с.
5. Гуменюк І. П. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні : навч. посіб. – Львів : Новий Світ, 2019. – 320 с.
6. ДСТУ ISO 12100:2014. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зменшення ризику. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2015.
7. ДСТУ EN 13155:2018. Крани вантажопідіймальні. Безпечність. Піднімальні пристрої для незафіксованих вантажів. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
8. Ковальчук М. П. Складська логістика на промислових підприємствах : навч. посіб. – Львів : Новий Світ-2000, 2019. – 312 с.
9. Кузьмін О. Є., Мельник О. Г. Управління виробничими системами : підручник. – Львів : Львівська політехніка, 2017. – 444 с.
10. Литвиненко В. І. Технологія листового штампування і гнуття металів : підручник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – 320 с.
11. Мельник В. І. Основи проектування машинобудівних конструкцій : навч. посіб. – Київ : НУБіП України, 2019. – 380 с.
12. Назаренко І. І. Підйомно-транспортні машини : підручник. – Київ : НТУ, 2018. – 412 с.
13. Плахтій П. Д. Комп'ютерне моделювання в машинобудуванні (SolidWorks) : навч. посіб. – Львів : Львівська політехніка, 2020. – 296 с.

14. Попов В. О. Технологічні процеси механічної обробки матеріалів : навч. посіб. – Київ : КПІ, 2016. – 290 с.
15. Сапожников В. М. Організація інструментального господарства на підприємствах машинобудування : навч. посіб. – Київ : КНЕУ, 2016. – 245 с.
16. Скиба М. Є. Охорона праці в машинобудуванні : навч. посіб. – Київ: Центр учбової літератури, 2018. – 288 с.
17. Степанов П. П. Основи конструювання машин : підручник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – 380 с.
18. Trumpf GmbH + Co. KG. TruBend Series 3000. Technical documentation and user manual. – Ditzingen : TRUMPF, 2022.
19. Bodor Laser. Bodor i7 Fiber Laser Cutting Machine. Technical specifications. – Jinan : Bodor Laser Technology Co., 2021.
20. DIN EN 1090-2. Execution of steel structures and aluminium structures. – Berlin : DIN, 2018.
21. Groover M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. – 6th ed. – Hoboken : Wiley, 2020. – 1025 p.
22. Kalpakjian S., Schmid S. Manufacturing Engineering and Technology. – 8th ed. – London : Pearson, 2019. – 1200 p.
23. Oberg E., Jones F., Horton H., Ryffel H. Machinery's Handbook. – 31st ed. – New York : Industrial Press, 2020. – 2872 p.
24. Pahl G., Beitz W., Feldhusen J., Grote K.-H. Engineering Design: A Systematic Approach. – London : Springer, 2013. – 617 p.
25. Steen W., Mazumder J. Laser Material Processing. – 4th ed. – London : Springer, 2010. – 558 p.
26. Thompson R. Manufacturing Processes for Design Professionals. – London : Thames & Hudson, 2018. – 256 p.
27. Ulrich K., Eppinger S. Product Design and Development. – 7th ed. – New York : McGraw-Hill, 2020. – 448 p.

28. Ashby M. F. Materials Selection in Mechanical Design. – 5th ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. – 660 p.

29. Chryssolouris G. Manufacturing Systems: Theory and Practice. – New York : Springer, 2013. – 442 p.